

ZANIECZYSZCZENIA MIKROBIOLOGICZNE W POWIETRZU WENĘTRZNYM

MICROBIOLOGICAL POLLUTION IN INDOOR AIR

Urszula Gąska-Jędruch, Marzenna R. Dudzińska

Zakład Inżynierii Środowiska Wewnętrznego, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska
Ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin
e-mail: M.Dudzinska@wis.pol.lublin.pl

ABSTRACT

Bioaerosols play a significant role in indoor air pollution as they can be pathogenic or cause allergic reactions. Indoor air contains a complex mixture of bioaerosols such as bacteria, fungi, viruses, bacterial cells and cellular fragments, fungal spores and by-products of microbial metabolism and non-biological particles e.g., dust, tobacco smoke, cooking-generated particles and motor vehicle exhaust particles. The main sources of bioaerosols in indoor air are humans themselves indoor materials e.g. textiles or wallpapers as well as outdoor aerosols. The concentrations bioaerosols in households and offices are discussed in the paper together with proposes law regulations.

Keywords: bioaerosols, bacteria, fungi, indoor air,

Wstęp

Badania przeprowadzone w różnych krajach wskazują, że w wielu przypadkach koncentracja powietrznych zanieczyszczeń w środowisku wewnętrznym jest znacznie wyższa niż w środowisku zewnętrznym. Ludzie spędzają coraz więcej czasu w środowisku wewnętrznym dlatego jakość powietrza wewnętrznego jest tak ważna (Guo i in. 2004). Szacuje się, że średnio 87% czasu ludzie przebywają w zamkniętych budynkach, a około 6 % czasu w środkach transportu. Wiele potencjalnych źródeł zanieczyszczeń oraz koncentracja zanieczyszczeń w powietrzu wewnętrznym stały się dominującym czynnikiem indywidualnego narażenia większości ludzi (Yang i in., 2009).

Wszegobecnymi zanieczyszczeniami powietrza wewnętrznego są bioaerozole. Stanowią one różnorodny kompleks cząstek składających się m.in. z materiałów biologicznych takich jak wirusy, pierwotniaki, komórki bakteryjne, fragmenty komórkowe, fragmenty grzybn i zarodniki grzybów (An i in., 2004). W skład mieszaniny bioaerozoli zaliczymy także produkty ich mikrobiologicznego metabolizmu: endotoksyny, enterotoksyny, enzymy i mykotoksyny, występujące w postaci różnych substancji chemicznych o złożonym składzie (Law i in., 2001, Agranovski i in., 2002). W zawiesinie bioaerozoli można wyróżnić pyłki kwiatowe, szczątki roślin, łupież zwierzęcy, cząsteczki pochodzące ze

złuszczenia się naskórka u ludzi oraz zwierząt (Maus i in., 2001). Drobnoustroje w powietrzu występujące w postaci bioaerozoli mogą być w postaci układów zawierających fazę rozpraszającą (powietrze) oraz fazę rozproszoną w postaci drobnych cząsteczek cieczy, kurzu pochodzenia roślinnego, zwierzęcego czy też mineralnego (Gołofit-Szymczak i Skowroń, 2005)

Bioaerozole stanowią około 5-34 % zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego. Cząsteczki bioaerozoli są zazwyczaj o średnicy 0,3-100 μm . Pojedyncze komórki bakteryjne są w rozmiarze od 0,5-2,0 μm np. *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas* czy *Arthrobacter*. Powszechnie występują ziarniaki, pałeczki i spirale. Wiele zarodników grzybów pleśniowych ma rozmiar większy niż 2,5-3,0 μm (*Aspergillus fumigatus* (3,5-5,0 μm), *Aspergillus niger* (3,0-4,5 μm), *Penicillium brevicompactum* (7-17 μm), *Cladosporium macrocarpum* (5-8 μm) *Epicoccum nigrum* (15,0-25 μm) i *Trichoderma harizanum* (2,8-3,2 μm) (Bonetta i in., 2009, Menetrez i in., 2007). Często mikroorganizmy są obecne w zgrupowaniach uformowanych w duże cząsteczki. Bioaerozole w zasięgu rozmiaru od 1,0-5,0 μm zazwyczaj pozostają w powietrzu, natomiast duże osadzają się na powierzchni (Stentzenbach L.D., 2004). Mieszanina może zawierać cząsteczki w postaci żywych komórek, ale wiele cząsteczek niezdolnych do życia (Pastuszka i in., 2000). Wewnętrzne powietrze oprócz wcześniej wymienionych zanieczyszczeń pochodzenia

biologicznego, zawiera także cząstki: kurzu, np. z palenia tytoniu, wytworzone podczas gotowania, jak również cząstki spalin z silników pojazdów czy wytworzonych w elektrowniach i elektrociepłowniach (Kalogerakis i in., 2005).

Wpływ bioaerozoli na zdrowie człowieka

Ze względu na swój skład, bioaerozole zawarte w powietrzu wewnętrznym mogą być przyczyną wielu niekorzystnych objawów chorobowych. Mikroorganizmy, szczególnie bakterie i grzyby mogą powodować m.in. astmę, katar sienny, zapalenie oskrzeli, chroniczną niewydolność płuc, raka płuc, choroby układu sercowo-naczyniowego, nieżyty przewodu pokarmowego, gruźlicę (prątek gruźlicy *Mycobacterium tuberculosis*), reakcje alergiczne, a także zapalenie zatok i spojówek oraz ostre infekcje wirusowe (Lee i in. 2006, Jo i in., 2006, Maus i in., 2001). Metabolity mikroorganizmów tj. endotoksyny i mykotoksyny w bioaerozolach odgrywają znaczącą rolę w reakcjach zapalnych i przyczyniają się do pogorszenia funkcjonowania płuc oraz wywołania innych infekcji (Stentzenbach L.D., 1998). Ponad 80 rodzajów grzybów może powodować objawy alergii dróg oddechowych, a ponad 100 ciężkie infekcje ludzi i zwierząt, a także choroby roślin. Są to głównie grzyby: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus* i *Fusarium* (Kalogerakis i in., 2005). Alergie wywołane przez bioaerozole są przyczyną reakcji immunologicznych. Zarodniki grzyba pleśniowego *Aspergillus*, często wchodzącego w skład bioaerozoli, wywołują aspergilozę głównie u osób z obniżoną odpornością. Natomiast bakteria *Legionella pneumophila* jest przyczyną legionellozy, ciężkiej zakaźnej choroby dróg oddechowych zwanej też Chorobą Legionistów.

Badania przeprowadzane w budynkach mieszkalnych na Górnym Śląsku wykazały, że pacjenci mieszkający w domach z problemem pleśni miały różne objawy astmy. Ryzyko pojawienia się astmy u mieszkańców domów z problemem pleśni wzrastało prawdopodobnie z wdychaniem cząsteczek grzybów jak i ich produktów np. lotnych związków organicznych, toksyn lub glukanów (Pastuszka i in., 2000). Bioaerozole, powodując różne problemy zdrowotne, przyczyniają się do dużych strat ekonomicznych. (Yao i Mainelis, 2006).

Choroby infekcyjne oraz nie infekcyjne nie zależą tylko od wdychania różnych bioaerozoli, i ich charakterystyki biologicznej i składu chemicznego, ale także od ilości wdychanych bioaerozoli oraz miejsca ich odkładania się w układzie oddechowym. Na odkładanie ma wpływ wielkość cząsteczek. Cząsteczki o rozmiarze wyższym niż 10 μm mają mniejszą możliwość wejścia niż cząsteczki o rozmiarze aerodynamicznym i 5-10 μm średnicy, mogące się

odkładać w układzie oddechowym i powodować astmę lub katar. Cząsteczki poniżej 5 μm mogą penetrować do pęcherzyków płucnych i powodować alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych oraz inne ciężkie choroby. Związane i niezwiązane alergeny grzybów są ultradrobnyymi cząsteczkami o rozmiarach poniżej <0,1 μm i mogą penetrować głęboko w układzie oddechowym. Na zdrowie człowieka mogą też wpływać interakcje biologicznych i nie biologicznych zanieczyszczeń. Uwalniane cząsteczki z pojazdów silnikowych stanowią nośniki alergenów. W kurzu znajdujące się także alergeny pochodzące np. z sierści zwierząt domowych. Cząsteczki pochodzenia nie biologicznego mogą być nośnikami alergenów grzybowych do płuc, szczególnie o rozmiarach poniżej 1 μm (Hargreaves i in., 2003).

Oprócz wyżej wymienionych zdiagnozowanych chorób, bioaerozole są jednym z czynników, które dolegliwości zwane „zespołem chorego budynku”, z angielskiego SBS (*sick building syndrome*). Zdefiniowanie przyczyn SBS jest trudne, gdyż, zwykle powodowany jest on połączeniem wielu czynników fizycznych, chemicznych, biologicznych oraz psychicznych. W ciągu ostatnich lat w Polsce nastąpił dynamiczny wzrost liczby obiektów budowlanych przeznaczonych do pracy biurowej. Wzrosła również liczba pracowników zatrudnionych w takich obiektach. Osoby zatrudnione na stanowiskach biurowych często skarżą się na zmęczenie, uczucie duszności, bóle i zawroty głowy, drażliwość, obniżenie zdolności koncentracji uwagi, zaburzenia pamięci, podrażnienie błon śluzowych oczu i górnych dróg oddechowych, zmiany skórne oraz nieżyty dróg oddechowych, które to objawy znikają wkrótce po opuszczeniu budynku. Według badań światowych, nawet w 70% badanych obiektów pracownicy skarżyli się na trzy najbardziej znaczące symptomy SBS tj. suchość oczu, suchość gardła i ból głowy (Lagoudi i in., 1996, Engelhart i in., 1999, Gołofit-Szymczak i Skowroń, 2005).

Źródła bioaerozoli w powietrzu wewnętrznym

Zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego mogą pochodzić zarówno ze źródeł zewnętrznych, jak i wewnętrznych. Jednym z głównych źródeł bioaerozoli w pomieszczeniach jest człowiek – kropelki potu, śliny. Człowiek stanowi główne źródło bakterii, gdyż budują one naturalną florę jego skóry. Wytwarzanie biologicznego aerozolu może odbywać się przez kichanie, kaszel, a także wysiłek fizyczny (np. chodzenie). Do znaczących wewnętrznych źródeł bioaerozoli zaliczymy również zwierzęta domowe. Wykazano, że ok. 58% z 178 kotów i 59 psów badanych w Nowej Zelandii ma w sierści grzyby. Większość rodzin w różnych

krajach trzyma w domu zwierzęta co znacznie zwiększa ryzyko narażenia na bioaerozole. Ważnym źródłem stają się więc sklepy zoologiczne i kliniki weterynaryjne jako potencjalne miejsca pracy związane z narażeniem na biologiczne powietrzne zanieczyszczenia. (Meklin i in., 2002, Jo i Kang, 2006)

Do potencjalnych źródeł wewnętrznych zanieczyszczeń można włączyć również czynności domowe: gotowanie, palenie, odkurzanie czy zamiatanie. Artykuły spożywcze, kwiaty doniczkowe, kurz, dywany, materiały drewniane oraz meble mogą czasami uwalniać zarodniki grzybów : *Alternarii*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Pencillium* i *Scopulariopsis*, wchodzących w skład bioaerozoli. Obecność roślin w domu może podwyższać stężenie grzybów w powietrzu, gdyż np. w ziemi roślin doniczkowych często znajdują się zarodniki grzyba *Aspergillus* (Jo i Kang, 2006).

Źródłem bioaerozoli są także łazienki, ze względu na wysoką wilgotność, co może sprzyjać wzrostowi grzybów pleśniowych. Umywalka, kanalizacja oraz nawilżacz powietrza stanowią źródło gram-negatywnych pałeczek. Kurz zawarty w mieszaninie bioaerozoli jest często znajdujący w łózkach i pościeli ze względu na kontakt ze skórą ludzi. Zamiatanie podłogi i zmiana pościeli także powoduje powstanie zawiesiny bioaerozoli w powietrzu. Również w kuchni podczas przygotowywania jedzenia uwalniane są cząsteczki wchodzące w skład bioaerozolu. Bioaerozole mogą także powstawać w salonie, w którym ludzie oglądają telewizję lub odpoczywają (Hargreaves i in., 2003, Srikanth i in., 2008).

Mikrobiologiczne zanieczyszczenia mogą być obecne w materiałach konstrukcyjnych i wykończeniowych. Tapety, materiały włókniste, materiały izolujące, płyty gipsowe mogą być ważnym źródłem żywych powietrznych mikroorganizmów, które mogą osadzać się na filtrach oraz urządzeniach filtrujących. Tapety zawierają substancje, które dostarczają składników odżywczych różnym mikroorganizmom (Maus i in., 2001). Grzyby mogą rosnąć niemal we wszystkich materiałach, jeśli tylko są odpowiednio wilgotne. Wysoka zawartość celulozy w niektórych materiałach (np. płyty sufitowe) powoduje, że są one idealnym środowiskiem dla ich wzrostu (Sivasubramani i in., 2004).

Ważnym czynnikiem wpływającym na jakość powietrza wewnętrznego jest ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja, w którą są przede wszystkim wyposażone budynki biurowe. Podkreśla się zwykle rolę zwiększonej efektywności filtracji w dużych budynkach dla ochrony mieszkańców i pracowników przed czynnikami biologicznymi (Raynor i in., 2008). Chociaż systemy wentylacji mechanicznej pomagają w usuwaniu do 80% aerozoli z powietrza

dostarczanego z zewnątrz, dostarczają także korzystnych warunków do rozwoju mikroorganizmów. Dlatego działanie systemów wentylacyjnych w budynkach jest uważane za czynnik przyczyniający się do zanieczyszczeń powietrza. Nawilżacze powietrza, nieczyszczone przewody wentylacyjne oraz filtry mogą być idealnym miejscem dla namnażania i rozsiewania grzybów oraz rozprzestrzeniania mikroorganizmów (Bonetta i in., 2009). Z systemów wentylacyjnych mogą pochodzić np. patogenne mikroorganizmy tj. *Legionella pneumophila*. Do grzybów pochodzących z tych systemów należą: *Aspergillus*, *Chaetomium* i *Alternaria* (Jaffal i in., 1997, Law i in., 2001).

Stwierdzono również, że dzieci mieszkające w domach z akwariami częściej chorują na astmę. Prawdopodobnie bakterie mogą rozpraszać się w powietrzu z rozrywających się baniek wody akwariowej z zawartymi w niej mikroorganizmami. Akwaria mogą więc być potencjalnym źródłem bioaerozoli i zwiększać ryzyko zachorowań (Pastuszka i in., 1996).

Drewniane budynki często są izolowane organicznymi materiałami takimi jak mech czy trociny, które mogą być źródłem aerozoli grzybowych. Rozmiary cząstek aerodynamicznych wśród różnych typów budynków może być zróżnicowane w zależności od ilości mieszkańców, ich działalności oraz stopnia wentylacji, które powodując prądy powietrzne i wibracje wpływają na uwalnianie i rozsiewanie zarodników grzybów (Meklin i in., 2002).

Źródła zanieczyszczeń biologicznych w powietrzu w środowisku biurowym są podobne jak w pomieszczeniach mieszkalnych - przede wszystkim ludzie, ale również pyły pochodzenia organicznego, materiały gromadzone w budynkach oraz powietrze z systemów wentylacyjno-klimatyzacyjnych (Gołofit-Szymczak i Skowroń, 2005).

Wewnętrzne powierzchnie i zewnętrzny klimat, wybór materiałów budowlanych i wyposażenie, ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja (system HVAC) ma wpływ na klimat pomieszczeń. Wiele wewnętrznych bioaerozoli bierze swój początek z zewnątrz dostając się przez otwarte drzwi i okna oraz przez ubytki w powłoce budynku. Jednak niewiele jest dostępnych informacji dotyczących ilościowych relacji między wewnętrznymi i zewnętrznymi poziomami bioaerozoli i chociaż istnieje konsensus badaczy, że poziom zewnętrznych aerozoli wpływa na poziom wewnętrznych, mechanizm nie jest do końca rozpoznany (Tuomainen i in., 2003, Bonetta i in., 2009, Zhu i in., 2003)

Stężenia bioaerozoli w środowisku wewnętrznym

Badania stężeń i rozkładu bioaerozoli przeprowadzane były w wielu krajach w różnych typach pomieszczeń, takich jak: szkoły, domy prywatne, szpitale, biura, jak również sklepy czy restauracje (Wong i in., 2008). W różnych krajach stężenia nie tylko były różne, ale identyfikowano różne mikroorganizmy, co wynikało oczywiście z lokalnych warunków środowiskowych. Koncentracje powietrznych bakterii i grzybów podawano w jednostkach tworzących kolonie w metrze sześciennym powietrza CFU/m³. Jednym z najczęściej badanych środowisk wewnętrznych

były pomieszczenia mieszkalne. Wybrane dane literaturowe z ostatnich lat zestawiono w Tabeli 1.

Badanie stężenia bioaerozoli w powietrzu wewnętrznym przeprowadzone w mieszkaniach w Australii wskazały, że średnia koncentracja grzybów w salonach wynosiła: 810±389 CFU/m³, w sypialniach: 692±385 CFU/m³, a w łazienkach: 499±521 CFU/m³. Najwyższe stężenia w salonie z minimalną wentylacją wynosiły 453±389 CFU/m³. Najczęściej spotykanymi grzybami były: *Pencillium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Curvuralia*. W badanych domach poziom grzybów przekraczał 1000 CFU/m³, a *Cladosporium* stanowił 50% wszystkich grzybów (Hargreaves i in., 2003).

Tabela 1. Zidentyfikowane mikroorganizmy oraz ich stężenia w pomieszczeniach mieszkalnych

Miejsce badania	Zidentyfikowane mikroorganizmy	Stężenie
Australia (Lee i Jo, 2006)	<u>Grzyby:</u> <i>Pencillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i>	<u>Grzyby:</u> 810 CFU/m ³ <u>Bakterie:</u> 284-465 CFU/m ³ 326-449 CFU/m ³
Australia (Hargreaves i in., 2003)	<u>Grzyby:</u> <i>Pencillium</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Curvuralia</i>	<u>Grzyby:</u> 810±389 CFU/m ³ 692±385 CFU/m ³ 499±521 CFU/m ³
Finlandia (Meklin i in., 1995)	Brak danych	<u>Grzyby:</u> <17-83 CFU/m ³ 20-140 CFU/m ³
Finlandia (Tuomainen i in., 2003)	Brak danych	Bakterie: 10-570 CFU/m ³
Polska (Pastuszka i in., 2000)	<u>Bakterie</u> - <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Micrococcus</i> <u>Grzyby:</u> - <i>Cladosporium cladospories</i> - <i>Penicillium</i>	<u>Bakterie :</u> 1000 CFU/m ³ <u>Grzyby</u> 60 - 800 CFU/m ³
Rzym (Sessa i in., 2002)	Brak danych	<u>Bakterie:</u> 92-182 CFU/m(-3) 66-80 CFU/m(-3) <u>Grzyby:</u> 147-297 CFU/m (-3) 102-132 CFU/m (-3)
Zjednoczone Emiraty Arabskie (Jaffa i in., 1997)	<u>Bakterie:</u> - kogulazo – ujemne <i>Staphylococci</i> , <i>Micrococcus spp.</i> , <i>Streptococcus spp.</i> , <i>Diphtheroid</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Streptomyces spp.</i>	Brak danych

W domach bez klimatyzacji w Brisbane, Australia koncentracja grzybów na zewnątrz (113 CFU/m³) była znacząco niższa niż wewnątrz (w pokoju z wentylacją grawitacyjną wynosiła 810 CFU/m³). *Aspergillus* i *Pencillium* były głównymi grzybami spotykanymi wewnątrz, natomiast grzyby *Cladosporium* i *Alternaria* były częściej spotykane na zewnątrz. Ogólna liczba bakterii w

pokojach była w zakresie między 284-465 CFU/m³ z pomiarów wykonanych zimą, a latem wartość wynosiła: 326-449 CFU/m³. Największy poziom grzybów głównie *Cladosporium* w badanych pomieszczeniach zmierzono w kuchni. Li i Kendrick (1995) wykazali natomiast wyższą koncentrację grzybów w łazience niż w sypialni. Buttner i Stezenbach (1993) opisali, że stężenie

grzybów było wyższe w salonie niż w sypialni co może wiązać się z większą aktywnością ludzi w tych pokojach. Dla wielu rodzajów grzybów poziom był wyższy podczas pomiarów wykonanych latem niż zimą. Ogólna liczba bakterii i grzybów była podobna zarówno w małych jak i dużych mieszkaniach. Stężenie bakterii w pomieszczeniach było wyższe niż na zewnątrz, jednak liczba grzybów była podobna (Lee i Jo, 2006).

Podczas trzyletnich badań w fińskich mieszkaniach, koncentracja bakterii była w zakresie 10-570 CFU/m³. Poziom wzrastał w czasie, gdy w budynku przebywali mieszkańcy. Poziom bioaerozoli w blokach wzrastał wraz z długością okresu zamieszkania przez ludzi: w okresie jednego roku poziom wynosi poniżej 80 CFU/m³, natomiast w kolejnych latach odpowiednio: 130 i 200 CFU/m³. W budynkach konstruowanych w sposób tradycyjny koncentracja mikroorganizmów wynosiła od 2-1000 CFU/m³ dla bioaerozoli grzybowych i 60-3900 CFU/m³ dla bioaerozoli bakteryjnych (Tuomainen i in., 2003).

Określenie rodzaju i ilości powietrznych mikroorganizmów przeprowadzono również w Zjednoczonych Emiratach Arabskich i wykryto następujące grupy mikroorganizmów: koagulujące *Staphylococci*, *Micrococcus species*, *Streptococcus species*, gram negatywne pałeczki, *Diphtheroid*, *Bacillus species* *Streptomyces species* oraz nie zidentyfikowane bakterie i grzyby. We wszystkich typach domów ogólna liczba mikroorganizmów otrzymanych z salonów była wyższa niż z sypialni. *Aspergillus* stanowił 75% ogólnej liczby grzybów. Ilość i typ mikroorganizmów mógł być przyczyną odczuwanego dyskomfortu w takich pomieszczeniach (Jaffal i in., 1997).

Badania prowadzono także w Polsce, na Górnym Śląsku, w mieszkaniach bez problemu pleśni i z problemami. W pomiarach wykonanych zimą w domach bez problemu pleśni koncentracja bakterii wynosiła ok. 1000 CFU/m³ i była wyższa od poziomu grzybów, których wartość w przybliżeniu wynosiła ok. 60 CFU/m³. W mieszkaniach z problemem pleśni podczas lata stężenie grzybów osiągało 800 CFU/m³. Jednak maksymalna zmierzona koncentracja aerozolu grzybowego osiągała prawie 17 000 CFU/m³. Wewnątrz budynków względna koncentracja wdychanej frakcji zdolnych do życia cząsteczek grzybowych była wyraźnie wyższa niż na zewnątrz, co wskazuje na ważną rolę zarodników w zanieczyszczeniach powietrza środowiska wewnętrznego. Głównym gatunkiem bakterii spotykanym w powietrzu był *Micrococcus* stanowiący 36% ogólnej ilości bakterii, a także *Staphylococcus epidermidis* obecny w 76% wszystkich domów i stanowiący 14% ogólnej ilości bakterii.

We wszystkich domach wykryto *Cladosporium cladospories* i *Pencillium*. (Pastuszka i in., 2000).

Równie ważna jak w mieszkaniach, jest jakość powietrza w pracy, gdzie człowiek spędza często ponad 8 godzin dziennie. Oprócz specyficznych środowisk pracy, gdzie może występować zagrożenie bioaerozolami (kliniki weterynaryjne, laboratoria badawcze, kompostownie), badania przeprowadzano najczęściej w pomieszczeniach biurowych. Szacuje się, że większość problemów zdrowotnych związanych z jakością powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach biurowych wiąże się z narażeniem na grzyby, głównie na grzyby pleśniowe. Stanowią one ok. 70% całkowitej mikroflory powietrza w pomieszczeniach. W Tabeli 2 zestawiono przykłady zmierzonych stężeń bioaerozoli w biurach w różnych krajach.

Badania powietrza w budynkach biurowych w USA i Brazylii wykazały obecność trzech gatunków grzybów: *Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.* i *Cladosporium spp.*. W powietrzu wewnętrznym może występować kilkadziesiąt gatunków bakterii. Wśród nich przeważają gatunki z rodzaju *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Micrococcus* i *Streptomyces* (promieniowce) (Gołofit-Szymczak i Skowroń, 2005).

Pomiary w pomieszczeniach klimatyzowanych i nie posiadających systemów klimatyzacyjnych w budynkach biurowych w Warszawie, wykonane przez Centralny Instytut Ochrony Pracy wykazały obecność głównie dwóch gatunków grzybów: *Penicillium spp.* i *Aspergillus spp.* Stwierdzono obecność *Candida spp.*, *Candida glabrata*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, czyli gatunków grzybów zaliczonych do drugiej grupy ryzyka - czynników, które mogą być szkodliwe dla ludzi. Najczęściej występujące grzyby z rodzaju *Aspergillus* są zaliczane do czynników alergicznych i toksycznych (*A.flavus*) oraz wywołujących choroby zakaźne i inwazyjne (*A.fumigatus*, *A.niger*). Dominującą mikroflorę bakteryjną w badanych budynkach stanowiły ziarniaki Gram-dodatnie *Micrococcus*, *Staphylococcus epidermidis* oraz laseczki z rodzaju *Bacillus*. W budynkach z systemami klimatyzacyjnymi, stężenia bakterii były niższe niż w budynkach bez systemów klimatyzacyjnych. Stopień zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza w pomieszczeniach badanych budynków był zależny od liczby osób przebywających w danym pomieszczeniu, od intensywności ich przemieszczania się oraz od rodzaju systemu wentylacyjnego i jego sprawności (Gołofit-Szymczak i Skowroń, 2005)

Tabela 2. Zidentyfikowane mikroorganizmy w biurach oraz ich stężenia

Miejsce badania	Zidentyfikowane mikroorganizmy	Stężenie
Francja (Parat i in., 1996)	Brak danych	<u>Bakterie:</u> 25 - 1142 CFU/m ³ 171 - 724 CFU/m ³ <u>Grzyby:</u> 17 - 208 CFU/m ³
Hong Kong (Law i in., 2001)	Brak danych	<u>Bakterie:</u> 1286 CFU/m ³ <u>Grzyby:</u> 3852 CFU/m ³
Polska (Gołofit-Szymczak i Skowron, 2005)	<u>Bakterie:</u> <i>Micrococcus</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Bacillus</i> <u>Grzyby:</u> <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus nigeri</i> , <i>Candida spp.</i> , <i>Candida glabrata</i> , <i>Pencillium</i>	
Rzym (Sessa i in., 2002)	Brak danych	<u>Bakterie:</u> 126 - 493 CFU/m ⁻³ <u>Grzyby:</u> 224- 858 CFU/m ⁻³
Tajwan (Wu i in., 2005)	<u>Grzyby:</u> <i>Pencillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i>	<i>Pencillium</i> i <i>Aspergillus</i> : >100 CFU/m ³ <i>Cladosporium</i> - >200CFU/m ³
USA i Brazylia (Gołofit-Szymczak i Skowron, 2005)	<u>Bakterie:</u> <i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Streptomyces</i> <u>Grzyby:</u> <i>Pencillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i>	Brak danych
Arizona, USA (Zhu i in., 2003)	<u>Bakterie:</u> <i>Bacillus</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Microbacterium</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Shigella</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Moraxella</i> , <i>Paenibacillus</i> <u>Grzyby:</u> <i>Alternaria</i> , <i>Pencillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i>	Brak danych
USA (Tsai i Macher, 1995)	Brak danych	<u>Bakterie:</u> 29- 48 CFU/m ³
Włochy – Turyn (Bonetta i in., 2009)	<u>Bakterie:</u> - <i>Micrococcus: M.lyale</i> , <i>M.luteus</i> - <i>Staphylococcus: S.haemolyticus</i> , <i>S.saprophyticus</i> , <i>S.auricularius</i> , <i>S.capitis</i> , <i>S.warner</i> , <i>S.hominis</i> , - <i>Kourtia gibsonii</i> , <i>Kocuria rosea</i> – <i>Erythromixia</i> - <i>Tsukamurella inchoensis</i> <u>Grzyby:</u> - <i>Pencillium</i> , <i>Cladosporium</i>	<u>Grzyby:</u> > 2,000 CFU/m ³ 100 CFU/m ³ <500 CFU/m ³ <u>Bakterie:</u> 50-500 CFU/m ³

W czasie badań w biurach i laboratoriach z systemem HVAC w Tempe, Arizona, USA, zidentyfikowano 20 różnych gatunków bakteryjnych należących do 10 rodzajów. Były to: *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Microbacterium*, *Acinetobacter*, *Arthrobacter*, *Shigella*, *Escherichia*, *Moraxella*, *Paenibacillus*. Do głównych rodzajów grzybów należały: *Alternaria*, *Pencillium*, *Aspergillus* i *Cladosporium* (Zhu i in., 2003). W Hongkongu maksymalna koncentracja bakterii i grzybów w badanych biurach osiągała

1286 CFU/m³ i 3852 CFU/m³, odpowiednio, dla pomiarów wykonanych w niedzielę. Średnie stężenie bioaerozoli podczas pracy w biurze było poniżej 1000 CFU/m³. Wartości przekraczające 3800 CFU/m³ otrzymano podczas pomiarów wykonywanych rano (Law i in., 2001).

W większości badanych budynków biurowych na Tajwanie ogólna liczba bakterii była wyższa niż 1000 CFU/m³. Głównymi wykrywaniem gatunkami w budynkach biurowych z wentylacją typu FCU, były

Cladosporium, *Pencillium*, *Aspergillus* oraz drożdże. Średnia koncentracja *Cladosporium* była wyższa niż 200 CFU/m³. Dla dwóch znanych mikroorganizmów wysokiego ryzyka (grzybów *Aspergillus* i *Pencillium*) koncentracja była wyższa niż 100 CFU/m³. Stężenie mikroorganizmów w biurach wyposażonych w wentylację FCU (85% budynków biurowych na Tajwanie) było wyższe w porównaniu z budynkami wyposażonymi w system AHU (Wu i in., 2005).

Również badania przeprowadzone we Francji wskazują, że koncentracja bakterii w powietrzu była wyższa i bardziej zmienna w pomieszczeniach biurowych z wentylacją naturalną, w porównaniu z pomieszczeniami klimatyzowanymi. Największą liczbę bakterii w badanych biurach otrzymano w czerwcu (1142 CFU/m³) najmniejszą w kwietniu (25 CFU/m³). Średnie stężenie bakterii w pomieszczeniu z klimatyzacją wynosiło 171 CFU/m³, natomiast z naturalną - 724 CFU/m³. Średnie stężenie grzybów osiągało w biurach z klimatyzacją - 17 CFU/m³, a z wentylacją naturalną - 208 CFU/m³ (Parat i in., 1996).

Znaczące różnice w koncentracji bioaerozolu bakteryjnego obserwowano w biurach (USA) w dwóch badanych sezonach, gdzie gram – pozytywne ziarniaki latem osiągały wartość: 48 CFU/m³, natomiast zimą 29 CFU/m³ a ich koncentracja była wyższa wewnątrz niż na zewnątrz w obu sezonach (Tsai i Macher, 2005). W sześciu dużych biurowych budynkach w Minnesocie, Iowa i Nebrasce powietrzna koncentracja bakterii i grzybów była niska i w żadnej z próbek wartość nie przekraczała 150 CFU/m³. Ogólna liczba bioaerozoli była bardzo różna w zakresie 5010 – 10 700 organizmów/m³. Średnia geometryczna koncentracji endotoksyn była w zakresie od 0.5 – 3.0 EU/m³ (Thorne i in., 2001).

Badania bioaerozoli prowadzono także we Włoszech, w biurach na przedmieściach zatłoczonego Turynu. Pierwsze uzyskane wyniki (pomiaru w sezonie zimowym) wykazały wysokie stężenia grzybów we wszystkich badanych biurach. W jednym pomieszczeniu stężenie przekroczyło 2000 CFU/m³, co było prawdopodobnie spowodowane powodzią w badanej okolicy. W kolejnych sezonach: wiosną, latem i następnej zimy, koncentracja grzybów spadła i wynosiła poniżej 500 CFU/m³ wiosną i 100 CFU/m³ latem i zimą. Stężenie bakterii było w zakresie 32-496 CFU/m³. Liczba bakterii wzrastała na przełomie wiosny i lata oraz podczas zimy w kolejnym roku. Koncentracja grzybów wzrastała natomiast wiosną. Znaczną zmienność wykrywano także w ciągu dnia. Wyższe poziomy zanieczyszczeń stwierdzono rano niż po południu. W tygodniu pracy poziom zanieczyszczeń był największy w piątek. W powietrzu wewnętrznym głównymi bakteriami były

ziarniaki. Zidentyfikowanymi gatunkami bakterii występującymi najczęściej były *Micrococcus* (32%) i *Staphylococcus* (44%). *Micrococcus luteus* i *Staphylococcus haemolyticus* (gatunki pochodzące z ludzkiej skóry) były wykrywane we wszystkich próbkach powietrza wewnętrznego. Kilka zidentyfikowanych bakterii (*Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus haemolyticus*, *Staphylococcus warneri* i *Staphylococcus hominis*) to opornistyczne patogeny, podczas gdy inne (*Kourtia gibsonii*, *Kocuria rosea*, *Erythromixia* i *Tsukamurella inchoensis*) były gatunkami charakterystycznymi dla danego środowiska. *Pencillium* był dominującym gatunkiem grzybów w powietrzu wewnętrznym i stanowił 68 % z pomiarów wykonywanych zimą i 60 % z pomiarów wykonywanych wiosną. Latem przeważał natomiast *Cladosporium*. Koncentracja bakterii i grzybów we wszystkich badanych pokojach wynosiła od 50-500 CFU/m³, co wskazuje na średni poziom zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego (Bonetta i in., 2009).

Regulacje prawne

Ze względu na wzrastające narażenie na bioaerozole konieczne jest zapewnienie niskiej koncentracji zanieczyszczeń mikrobiologicznych zarówno w miejscach pracy jak i domach prywatnych.

Zgodnie z wymaganiami Unii Europejskiej liczba mikroorganizmów w 1m³ powietrza wewnętrznego nie może przekraczać 500 komórek (Kosińska, 1998). Górny i Dutkiewicz (2002) na podstawie dostępnej literatury i danych o jakości powietrza wewnętrznego w Europie zaproponował kolejne wskaźniki mieszkaniowe wynoszące: 5 x 10³ CFU/m³, 5 x 10³ CFU /m³ i 5 ng /m³ dla grzybów, bakterii i bakteryjnych endotoksyn, odpowiednio. Obecność patogennych grzybów uznano za nie do przyjęcia we wszystkich koncentracjach (Fabian i in., 2005).

W Polsce nie ma odpowiednich aktów prawnych. Od wielu lat krajowe komitety specjalistów, niezależne grupy naukowców i indywidualni badacze proponują zakresy wartości dopuszczalnych stężeń szkodliwych czynników biologicznych w pomieszczeniach zamkniętych. Na uwagę zasługują propozycje Zespołu Ekspertów ds. Czynniki Biologiczne Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN. Dotyczą one przyjęcia zalecanych wartości dopuszczalnych stężeń najbardziej powszechnych kategorii mikroorganizmów i endotoksyn bakteryjnej w powietrzu pomieszczenia roboczego oraz pomieszczeń mieszkalnych i użyteczności publicznej. Propozycje te mogą być podstawą do opracowania ogólnie akceptowanych norm dotyczących szkodliwych czynników biologicznych (Gołofit-Szymczak, 2005).

Tabela 3. Propozycje dopuszczalnych stężeń drobnoustrojów i endotoksyny w powietrzu, opracowane przez Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN.

Czynnik mikrobiologiczny	Dopuszczalne stężenie	
	Pomieszczenia robocze zanieczyszczone pyłem organicznym	Pomieszczenia mieszkalne i użyteczności publicznej
Bakterie mezofilne	100 000 CFU/m ³	5000 CFU/m ³
Bakterie Gram-ujemne	20 000 CFU/m ³	200 CFU/m ³
Termofilne promieniowce	20 000 CFU/m ³	200 CFU/m ³
Endotoksyna bakteryjna	200 ng/ m ³ (2000 EU/ m ³)	5 ng/ m ³ (50 EU/ m ³)
Grzyby	50 000 CFU/m ³	5000 CFU/m ³

Gdzie: CFU = jednostki tworzące kolonie;
EU = jednostki endotoksyczne

Natomiast dla frakcji respirabilnej proponowane wartości powinny być o połowę niższe i wynosić:

- 50 000 CFU/m³ dla bakterii mezofilnych,
- 10 000 CFU/ m³ dla bakterii Gram-ujemnych,
- 10 000 CFU/m³ dla termofilnych promieniowców,
- 25 000 CFU/m³ dla grzybów,
- 100 ng/m³ (1 000 EU/m³) dla endotoksyny bakteryjnej.

Można dyskutować, czy ustanawiać normy stężenia bioaerozoli w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych, gdyż trudno wyobrazić sobie, szczególnie w polskich warunkach, że ktoś wyprowadzi się z mieszkania o podwyższonej zawartości grzybów lub bakterii. Jednak regulacje są potrzebne nie tylko dla nowych pomieszczeń, gdzie nie można się spodziewać wysokich stężeń bioaerozoli, ale aby uświadomić użytkownikom zagrożenie oraz określić poziomy, powyżej których niezbędne będą działania naprawcze – wprowadzenie bardziej wydajnej wentylacji czy wymiana wyposażenia.

LITERATURA

- AGRANOVSKI I.E., AGRANOVSKI V., REPONEN T., WILLEKE K., GRINSHUPUN S. A.2002, Development and evaluation of a new personal sampler for culturable airborne microorganisms, *Atmospheric Environment* 36, 889-898.
- AN H.A., MAINELIS G., YAO M., 2004, Evaluation of a high-volume portable bioaerosol sampler in laboratory and field environments, *Indoor Air* 14: 385-393.
- BONETTA SA., BONETTA SI., MOSSO S., SAMPO S., CARRARO E., 2009, Assessment of microbiological indoor air quality in an Italian office building equipped with an HVAC system, *Environ Monit Assess*
- ENGELHART S., BURCHARDT H., NEUMANN R., EWERS U., EXNER M., KRAMER M. H., (1999) „Sick Building Syndrome in an Office Building Formerly Used by a Pharmaceutical Company: A Case Study”, *Indoor Air* , 9:139-143
- FABIAN M. P., MILLER S.L., REPONEN T., HERNANDEZ M.T., 2005, Ambient bioaerosol indices for indoor air quality assessments of flood reclamation, *Aerosol Science* 36, 763–783
- GOŁOFIT-SZYMCAK M., SKOWROŃ J., 2005, Zagrożenia mikrobiologiczne w pomieszczeniach biurowych, *Bezpieczeństwo pracy* 3.
- GUO H., LEE S.C., CHAN L.Y., 2004, Indoor air quality investigation at air-conditioned and non-air-conditioned markets in Hong Kong, *Science of the Total Environment* 323, 87-98.
- HARGREAVES M., PARAPPUKKARAN S., MORAWSKA L., HITCHINS J., HE. C., GILBERT D., 2003, A pilot investigation into association between indoor airborne fungal and non-biological particle concentrations in residential houses in Brisbane, Australia, *The Science of the Total Environment* 312, 89-101.
- JAFFAL A.A., BANAT I.M., MOGHETH EI A.A., NSANZE H., BENER A., AMEEN A.S., 1997, Residential indoor airborne microbial populations in the United Arab Emirates, *Environment International* vol. 23, 4, 529-533.
- JO W-K., KANG J-H., 2006 Workplace exposure to bioaerosols in pet shop, pet clinics and flower garden, *Chemosphere* 65, 1755-1761.

- KALOGERAKIS N., PASCHALI D., LEKADITIS V., PANTIDOU A., ELEFHERIADIS K., LAZARIDIS M., 2005, Indoor air quality-bioaerosol measurements In domestic and office premises, *Aerosol Science* 36, 751-761.
- KOSIŃSKA I., Grzyby w powietrzu pomieszczeń a zagrożenie zdrowotne, 100-106, w: *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 1997*, pod redakcją Jędrzejewska - Ścibak T., Sowa J, Wydawnictwa Instytutu Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998
- LAGOUDI A., LOIZIDOU M., SANTAMOURIS M., ASIMAKOPOULOS D., 1996, Symptoms experienced, environmental factors and energy consumption in office building, *Energy and Buildings* 24, 237-243.
- LAW A. K. Y., CHAU C.K., CHAN G. Y. S., 2001, Characteristics of bioaerosol profile in office buildings in Hong Kong, *Building and Environment* 36, 527-541.
- LEE J.-H., JO W-K., 2006 Characteristics of indoor and outdoor bioaerosols AT Korean high-rise apartment buildings, *Environmental Research* 101, 11-17.
- MAUS R., GOPPELSRODER A., UMHAUER H., 2001, Survival of bacterial and mold spores in air filter media, *Atmospheric Environment* 35, 105-113.
- MEKLIN T., NEVALAINEN A., JUOZAITIS A., WILLEKE K., 1995, Characterizing the mold exposure in schools – comparison of the new single-stage impactor and Andersen six-stage impactor, *J.Aerosol Sci.* 26, S881-S882.
- MEKLIN T., REPONEN T., TOIVOLA M., KOPONEN V., HUSMAN T., HYVARINEN A., NEVALAINEN A., 2002, Size distributions of airborne microbes in moisture-damaged and reference school buildings of two construction types, *Atmospheric Environment* 36, 6031-6039.
- MENETREZ M.Y., FOARDE K.K., DEAN T.R., BETANCOURT D.A., MOORE S.A., 2007, An evaluation of the protein mass of particulate matter, *Atmospheric Environment* 41, 8264-8274.
- PARAT S., PERDRIX A., FRICKER-HIDALGO H., SAUDE I., GRILLOT R., BACONNIERS P., 1997, Multivariate analysis comparing microbial air content of an air –conditioned building and a naturally ventilated building over one year, *Atmospheric Environment* 31, 441-449.
- PASTUSZKA J.S., GÓRNY R.L., LIS D. O., 1996, Emission of bacterial aerosol from the fish aquarium, *J. Aerosol Sci.* Vol. 27, 253-254.
- PASTUSZKA J.S., PAW U. K. T., LIS D.O., WLAZŁO A., ULFIG K., 2000, Bacterial and fungal in indoor environment in Upper Silesia, Poland, *Atmospheric Environment* 34, 3833-3842.
- RAYNOR P. C., KIM B. C., RAMACHANDRAN G., STROMMEN M. R., HORNS J. H., STREIFEL A. J., 2008, Collection of biological and non-biological particles by new and used filters made from glass and electrostatically charged synthetic fibers, *Indoor Air* 18, 51-62.
- SESSA R., DI PM, SCHIAVONI G. SANTINO I., ALTIERI A., PINELLI S., DEL PM, 2002, Microbiological indoor air quality in healthy buildings, *New Microbiology* Jan; 25(1), 51-6
- SIVASUBRAMANI S. K., NIEMEIER R. T., REPONEN T., GRINSHUPUN A., 2004, Fungal spore source strength tester: laboratory evaluation of a new concept, *Science of the Total Environment* 329, 75-86.
- SRIKANTH P., SUDHARSANAM S., STEINBERG R., 2008, Bio-aerosols in indoor environment: composition, health effects and analysis, *Indian Journal of Medical Microbiology* 26(4), 302-12.
- STETZENBACH L., D, 1998, Microorganisms and Indoor Air Quality, *Clinical Microbiology Newsletter* Vol. 20 No.19.
- STETZENBACH L.D., BUTTNER M. P., CRUZ P., 2004, Detection and enumeration of airborne biocontaminants, *Current Opinion in Biotechnology* 15, 170-174.
- THORNE P. S., REYNOLDS S. J., WHITTEN P., BLACK D.W., BORIN S. S., BREUER G. F., BURMEISTER L., FUORTES L. J., SMITH T. F., STEIN M. A., SUBRAMANIAN P., 2001, Indoor environmental quality in six commercial office buildings in the Midwest United States, *Applied Occupational and Environmental Hygiene* vol. 16, 11, 1065-1077(13).
- TSAI F.C., MACHER J.M., 2005, Concentrations of airborne culturable bacteria in 100 large US office buildings from the BASE study, *Indoor Air* 15 (9), 71-81.
- TUOMAINEN M., TUOMAINEN A., LIESIVUORI J., PASANEN A.-L., 2003, The 3-year follow-up study in a block of flats – experiences in the use of the Finnish indoor climate classification, *Indoor Air* 13, 136-147.
- WONG L. T., MUI K. W., CHAN W.Y., 2008, An energy impact assessment of ventilation for indoor airborne bacteria exposure risk in air-conditioned offices, *Building and Environment* 43, 1939-1944.

WU P.-C., LI Y.-Y., CHIANG C.-M., HUANG C.-Y., LEE C.-C., LI F.-C., SU H.-J., 2005, Changing microbial concentrations are associated with ventilation performance in Taiwan's air-conditioned office buildings, *Indoor Air* 15, 19-26.

YANG W., SOHN J., KIM J., SON B., PARK J., 2009, Indoor air quality investigation according to age of the school building in Korea, *Journal of Environmental Management* 90, 348-354.

YAO M., MAINELIS G., 2006, Utilization of natural electrical charges on airborne microorganisms for their collection by electrostatic means, *Aerosol Science* 37, 513-527.

ZHU H., PHELAN P., DUAN T., RAUPP G., FERNANDO H. J. S., 2003, Characterizations and relationships between outdoor and indoor bioaerosols in an office building, *China Particuology* 3, 119-123. Law A. K. Y.,